落下型無重力実験のための動物行動観察装置

土 田 義 和, 下 澤 楯 夫*

(* 電子科学研究所 電子情報処理部門神経情報研究分野　教授)

1. はじめに

上砂川町に, 閉山した炭鉱の立て坑跡を利用して, 世界最大の落下型無重力実験施設「(株) 地下無重力実験センター」(Japan Microgravity Center :JAMIC) が開所 (1991.7.17) した. 施設は実験装置を搭載したカプセルを立て坑 (全長710m) 内で自由落下させて, カプセルを無重力 (正確には微小重力10^{-4}G) 状態にする. その無重力持続時間は10秒間である.

同センターを利用して無重力下における宇宙産業に関わるいろいろな実験が地上で試みられている. 同センターの上部機関「(財) 宇宙環境利用推進センター (Japan Space Utilization Promotion Center :JSUP)」や上砂川町の主催によるオープンイベントとしてデモンストレーション実験が計画・実行された. その初期デモンストレーションプログラムに電子科学研究所神経情報研究分野のテーマ「動物の姿勢制御における重力感覚器の役割」が採択され, 実験のはこびとなった.

落下実験は, ショウジョウバエ, アフリカツメガエルの幼生 (オタマジャクシ) と小型成体, アメリカザリガニ, クロコオロギと実験動物を換えて, 5回行った.

本, 報告は JAMICの設備に搭載し, 上記テーマを実現するため製作した動物行動観察用装置について, 主に報告する.

2. 落下型無重力発生装置[1, 2]

2.1 無重力発生装置

落下カプセルは全長710m (自由落下部490m, 制動部220m) の立て抗内を実験装置を搭載して, 自由落下する. 図 2.1.1 に落下型無重力発生装置の概略図を示す.

落下カプセルは内カプセルと外カプセルの二重構造で構成されている. 図 2.1.2 に落下カプセルの構成図を示す.

外カプセルは3つのモジュール (バスモジュール：データ記録装置, スラスタ制御装置等搭載部. ペイロードモジュール：内カプセル収納部. スラスタモジュール：ガススラスタ搭載部) で構成されている. 内カプセル内は大気圧に置かれ, 実験支援機器を備えた実験用ラックを搭載する. 図 2.1.3 に実験用ラックの外形を示す.

ペイロードモジュールとカプセルの間は真空に引かれ, 内カプセル内への振動等を遮断する. 落下中は真空中を落下する内カプセルを, 外カプセルがガスラスタをふかして追いかける. このため, 内カプセルは外カプセル内に浮いた状態になる.

カプセルの落下には実験装置の実験用ラック組み込み・カプセルの組立・移動・機能チェック・落下・回収・分解の作業手順を要する. ユーザはＪＡＭＩＣ側へ実験装置を引き渡してから, 手元に戻るまでの作業時間 (1時間30分, 初期では3時間) を十分考慮する必要がある. 落下システムの諸性能を 表 2.1.1 に示す.

2.2 無重力発生装置と実験装置のインタフェース

無重力発生装置と実験装置のインタフェースは

機械的なものと電気的（電源系，通信系）なものがある．

実験装置は準備されている実験用ラック内に納め，固定する必要がある．実験用ラックは５種類の使用形態が用意され，それぞれに応じた実験装置全体の容積や実験装置搭載用棚板の材質・サイズ・ネジ取付け位置等が指定されている． 図 2.2.1 に実験装置搭載容量と重量，標準ラック棚板の寸法を示す．

実験装置はＪＡＭＩＣ側から電源の供給を受けることが出来る．電源は外部電源（実験準備作業），搭載電源（実験前・中・後）に分けられ，それらの仕様に沿った利用が可能である． 表 2.2.1A, 1B に搭載電源系の仕様ならびに動作タイムチャートを示す．電源用インタフェースパネルには大電力用Ａ（ＤＣ２８Ｖ）２個，大電力用Ｂ（ＤＣ２８Ｖ）１個，小電力用（ＤＣ２８Ｖ無瞬断用）２個，交流用（ＡＣ１００Ｖ）２個の４種７個の電源用コネクタが用意されている．無重力発生装置はアナログおよびデジタルの実験データ，ビデオ信号の伝送，記録機能と実験装置へのコマンド信号伝送機能を備えている．伝送信号は地上の制御モニタ室でリアルタイムでモニタできる．伝送ラインは当初ケーブルで行い，落下直前に光

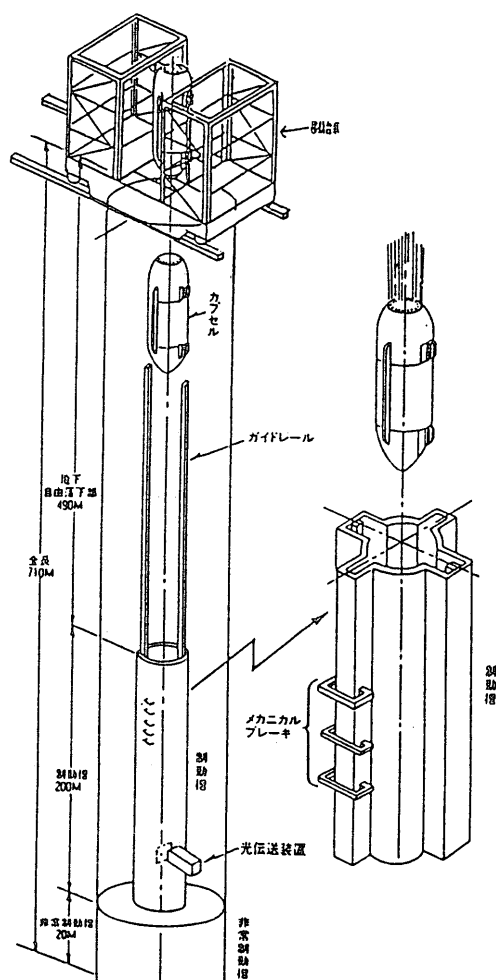



図 2.1.1 落下型無重力発生装置の概略図

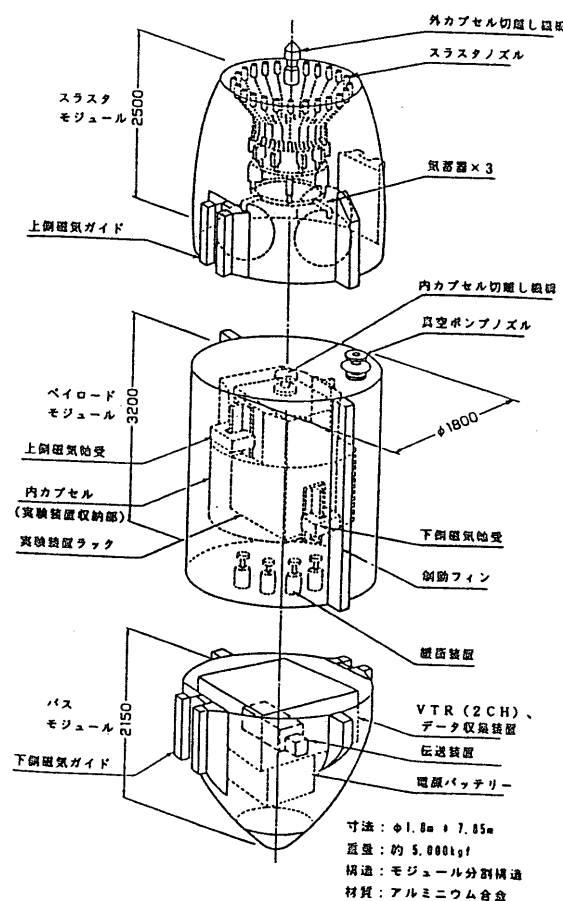



図 2.1.2 落下カプセル構成図

による伝送に切り替える．光伝送による実験データ数はアナログ・デジタル共に８チャネル，画像・２チャネルを備える．同コマンド数はアナログ・１チャネル，デジタル・８チャネルを備える．通信用のインタフェースパネルは実験ラックに２つ備えられ，１つのパネルに１／４ラック２台相当の各コネクタ（アナログ，デジタル，ビデオ）が用意されている．表 2.2.2A, 2B に通信系の仕様ならびに動作タイムチャートを示す．図 2.2.2 に実験ラックに備えるインタフェースパネルのコネクタ配置図を示す．

内カプセル内の環境情報はＪＡＭＩＣ側から提供される．環境情報は実験用ラック上部に設置された共通実験支援機器に設置されている各種のセンサ（μ－ｇセンサ，制動加速度センサ，温度センサ，圧力センサ，騒音計）によって測定され，地上に伝送する． 表 2.2.3 に共通実験支援機器によって測定される環境情報を示す．伝送された情報は制御モニター室の画像デスプレイや環境情報デスプレイに直ちに表示し，記録する．落下実験終了後，記録されたデータや画像は記録用紙，フロッピデスク，やビデオテープとして，ユーザに提供される．

電源・通信系は落下後３０秒で全て遮断される．

実験支援機器搭載部

実験装置搭載部

寸法： 900W * 900L * 1400H (mm)
構造： 金属骨組み、溶接構造
材質： アルミニウムおよびステンレス鋼

図 2.1.3 実験用ラックの外形

３．実験装置

3.1 実験動物

実験動物には小型で入手が容易だった「ショウジョウバエ」，「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」，「アメリカザリガニ」，「クロコオロギ」を使用した．

実験は無重力下での実験動物の行動観察が主であるため，実験動物は空気槽や水槽に納められ，ビデオカメラによって撮影・記録した．図 3.1.1 に無重力下での実験装置への要求と各実験動物の注目点を示した．

微小重力レベル	10^{-4} g以下
微小重力時間	１０秒
制動時減速度	１０ g以下
実験部環境	
気圧	１ atm（大気圧）
温度	２０～４０℃
地場環境	４ガウス以下
ペロイード最大容積	１．３mφ（直径）＊１．４m
最大重量	１，０００kgf
落下環境	大気中
落下カプセル	二重カプセル構造
空気抗力補償	ガススラスタ方式
制動方式	エアーブレーキと メカニカルブレーキの併用

表 2.1.1 落下システムの諸特性

（１） １／１エンベロープ
可能容積：870W*870L*918H(mm)
可能重量：総重量500kgf

（２） １／４（横置き）　標準ラック
可能容積：870W*425L*443H(mm)
可能重量：総重量125kgf

（３） １／４（縦置き）
可能容積：425W*425L*918H(mm)
可能重量：総重量125kgf

（４） １／２（横置き）
可能容積：870W*870L*433H(mm)
可能重量：総重量250kgf

（５） １／２（縦置き）
可能容積：870W*425L*918H(mm)
可能重量：総重量250kgf

◎標準ラック以外の使用では1000kgfまで可能。

「棚板」（1/4標準ラック寸法）

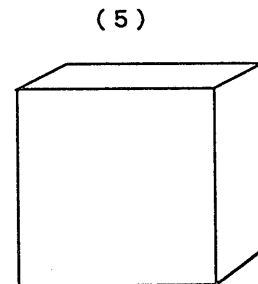
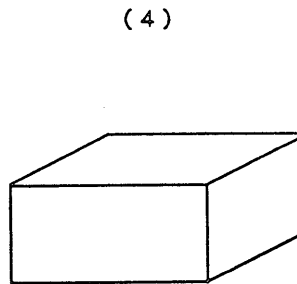
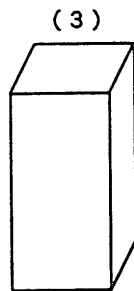
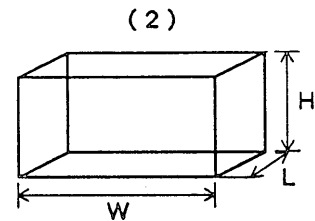
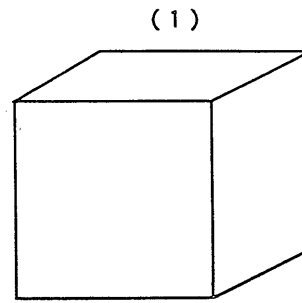
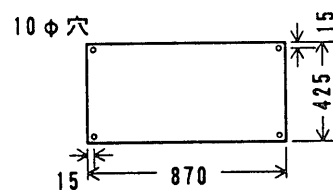
10φ穴
15
425
15
870

材質	板厚
ｱﾙﾐﾆｭｰﾑ合金	9mm以上
ステンレス鋼	8mm以上
炭素鋼	8mm以上
木製合板	20mm以上

図 2.2.1　実験用ラックの外形，搭載実験装置・棚板の機械的寸法

表 2.2.1A　電源系の仕様

種類＼電力供給	外部電源	搭載内部電源(ﾊﾞｯﾃﾘ)
大電力用直流電源 DC28V	50A 準備作業ﾉﾐ AC100V-DC28V	A：40A、10分　瞬停ｱﾘ DC35V-28V
大電力用直流電源 DC28V		B：20A 、10分　瞬停ｱﾘ DC35V-28V
小電力用直流電源 DC28V		C：20A 、10分　瞬停ﾅｼ DC35V-28V
交流電源 AC100V(50Hz)	10A 準備作業ﾉﾐ （正弦波）	D：2A、10分　瞬停ｱﾘ E；2A、10分 （方形波）

外部電源　：　落下実験前に実施する実験準備作業
内部電源　：　搭載電源を使用

表 2.2.1B　電源系の動作
タイムチャート

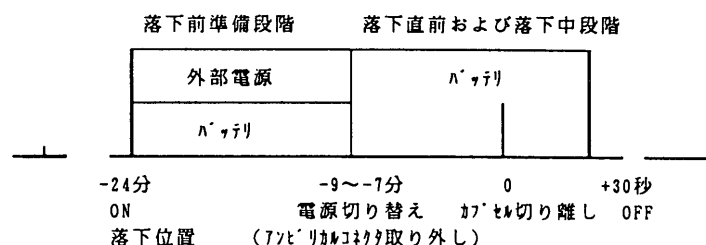



表 2.2.2A　通信系の仕様

	伝送方式	データの種類	1ﾗｯｸ／1/4ﾗｯｸ	仕様　(1/4ﾗｯｸ)
実験データ	ケーブル	アナログデータ デジタルデータ 画像データ	64／16点 24／6 点 2／1ﾁｬﾈﾙ *1	アナログ　±10V *4 12bit　+5V　*6 0.2FS　+20mA *6 デジタル DC-15V DC-15Vor-24V*6 sm 25,50,100,500ms 画像　NTSC 1Vp-p
	光	アナログデータ デジタルデータ 画像データ	8／2点 8／2点 2／1ﾁｬﾈﾙ *1	
コマンド	ケーブル	アナログコマンド デジタルコマンド	4／1点 8／2点	アナログ ±10V、12bit、20mAmx デジタル－接点出力 ﾊﾟﾙｽ　or ｵﾙﾀﾈｰﾄ (PL-0.3s) 落下開始　1shot-1s
	光	アナログコマンド デジタルコマンド デジタルコマンド	1／1点 *3 8 *3／2点 *3 8 *3／2点 *3	

1）２装置のみ。２）１装置のみ。３）実験支援機器を含む

表 2.2.2B　通信系の動作
タイムチャート

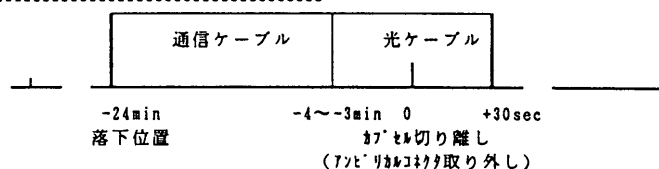
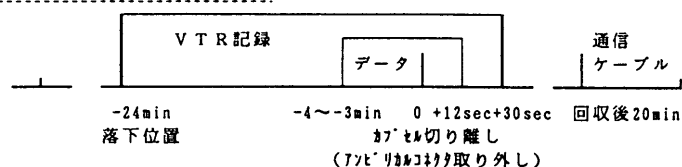
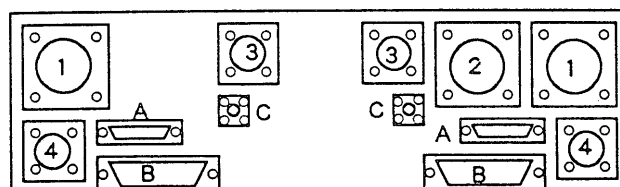



図 2.2.2 インタフェースパネルのコネクタ配線図

電力系
1：大電力用Ａ　（ＤＣ２８Ｖ）コネクタ
2：大電力用Ｂ　（ＤＣ２８Ｖ）コネクタ
3：小電力用Ｃ　（ＤＣ２８Ｖ）コネクタ
4：交流用Ｄ，Ｅ　（ＡＣ１００Ｖ）コネクタ

通信系
Ａ：デジタル信号用コネクタ（25ﾋﾟﾝＤサブ）
Ｂ：アナログ信号用コネクタ（50ﾋﾟﾝＤサブ）
Ｃ：ビデオ信号用コネクタ　（ＢＮＣ）

μ－gセンサ	実験環境の微小重力度を測定する３軸ｾﾝｻ。 測定範囲：$1*10^{-8}$～10^{-2} g、分解能：$1*10^{-8}$ g
制動加速度センサ	内カプセル内の制動加速度を測定する３軸制動加速度ｾﾝｻ。 計測範囲：±15 g、分解能：$1*10^{-2}$ g 以下
温度センサ	実験環境の温度を測定するｾﾝｻ。 測定範囲：0～100 ℃、計測精度：±0.5 ℃
圧力センサ	実験環境の圧力を測定し、かつ内ｶﾌﾟｾﾙの気密ﾁｪｯｸの役目も担うｾﾝｻ。 計測範囲：0～30 psia　計測精度：±0.1 %FS 以内 測定感度：±0.01 %FS 以内
騒音計	実験環境の騒音を測定するｾﾝｻ。 測定範囲　：31.5～8000 Hz 騒音レベル：31～130 dB(A)（レンジ切換） 計測精度　：0.1 dB(A)

表 2.2.3 共通実験支援機器による環境情報

実験動物	実験装置への要求	注目点
「ショウジョウバエ」	ＶＨＳビデオカメラの設定 （電源、ｼｬｯﾀ速度、ｵｰﾄﾌｫｰｶｽ） 照明用ﾗﾝﾌﾟ・時計 ───落下直前の制御 温度制御 空気槽	飛翔行動（特に翅の動き）と行動の観察
「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」	ＶＨＳビデオカメラの設定 （電源、ｵｰﾄﾌｫｰｶｽ） 照明用ﾗﾝﾌﾟ（蛍光灯） 空気遮断装置動作 ───落下直前の制御 水槽	游泳行動の観察
「クロコオロギ」	８ミリビデオカメラ・照明（蛍光灯） 筋電図用プリアンプ等 筋電図用記録計───落下直前の制御 空気槽	飛翔行動の観察・筋電図の記録
「アメリカザリガニ」	８ミリビデオカメラ・照明（蛍光灯） 照明用蛍光灯の制御───落下中の制御 水槽	游泳行動の観察（平衡石の有・無） 照明の影響

図 3.1.1　無重力下での実験装置への要求と各実験動物の注目点

3.2　ビデオカメラ[3, 4, 5, 6)]

ビデオカメラによる撮影は落下の前後数分（落下時間１０秒間）も行えば十分である．しかし，ビデオカメラの使用にはその機能や操作手順，ＪＡＭＩＣ側への実験装置引き渡し時間等を配慮する必要がある．

当初のビデオカメラはＳ－ＶＨＳＣ方式（ビクター製，GR-LT7：以後，ＶＨＳビデオカメラという．）を，後では８ミリ方式（ソニー製 ，HANDA YCAM(Hi-8)TR900：以後，８ミリビデオカメラという．）を使用した．ＶＨＳビデオカメラと８ミリビデオカメラの主な仕様を 表 3.2.1 に示した．ＶＨＳビデオカメラは実験当初に手元にあり，前半２件の落下実験に使用した．ＶＨＳビデオカメラは電源投入時には必ず全自動（オートフォーカス，シャツタ速度１／６０秒，等）になる．そのため，手動動作の場合は電源投入後，設定操作，撮影の手順を経る必要がある．ＶＨＳビデオカメラの撮影時間は標準速度で最大３０分である．８ミリビデオカメラは後半２件の落下実験に使用した．８ミリビデオカメラのフォーカスとシャツタ速度は手動設定機能により，電源投入後，すぐに撮影に入れる．撮影時間は最大２時間．

落下実験ではＪＡＭＩＣ側への引き渡し時間が１時間３０分前（一回目の実験では落下３時間前）であることから，ＶＨＳビデオカメラの設定・撮影操作は落下直前に行う必要がある．ＶＨＳビデオカメラの設定作業は①ビデオカメラ電源オン，②シャッタ速度の設定（シャッタ速度の変更が必要な場合），③オートフォーカスオフ，④録画スタート，⑤録画ストップ，⑥ビデオカメラ電源オフ，を行う．設定にはＶＨＳビデオカメラ専用リモコン（RM-V50）を利用する．制御はリモコン（①，④，⑤，⑥）やビデオカメラ本体（②，③）のスイッチのオン・オフ動作を制御装置で代行して行う．スイッチ端子はリモコン用ＩＣのハンダ付け端子部位やビデオカメラ本体のスイッチ用分圧抵抗器ハンダ付け部位にハンダ付け接続したリード線で外部に取り出す．そして，リード線は制御装置の出力インタフェース（半導体アナログス

イッチ）へ接続する．図 3.2.1 にVHSカメラとリモコンスイッチの配線図（配線パターンより作図）を示した．

落下前コマンド信号（落下３０秒前：ＰＬ－０．３秒幅リレーオン）によって，制御回路（４．２参照）を動作させ，シーケンス制御方式でビデオカメラの設定を行う．「ショウジョバエ」を用いた飛翔状態の撮影で，翅の動きを注目することから，ビデオ撮影時のシャツタ速度は１／４０００秒に設定する．

８ミリビデオカメラでは撮影時間が２時間あるため，ＪＡＭＩＣ側引き渡し直前に撮影用の光源を点灯後，電源を投入して，撮影状態にする．ＪＡＭＩＣ引き渡し直後から，カプセルの組立，落下，回収の間の映像が全て録画される．

「ショウジョバエ」を用いた落下実験では同一ラック（１／４ラック）に２台のＶＨＳビデオカメラを用いた．他の落下実験では１／４ラックに１台のＶＨＳビデオカメラまたは8ミリビデオカメラを用いた．「アメリカザリガニ」の１回目の落下実験ではＶＨＳビデオカメラの他に小型ＣＣＤカメラ（ＪＡＭＩＣ側より借用）を同一ラックに搭載した．ＣＣＤカメラの画像はビデオチャネルを使用してカプセル内でのＶＴＲ録画および制御モニター室のＶＴＲ録画・デスプレイ表示する．最終落下実験では８ミリビデオカメラの他に実験ラックに搭載した１／４分割ビデオ装置を共同実験者と共に利用し，そのうちの１チャネルを使用した．

3.3　光　源

実験ラックの納まっている内カプセル内には支援用機器用のパイロットランプ以外の発光源はない．しかし，共同実験者が光遮蔽を施していない実験装置で光源を使用することがある．その光源の種類や使用状態はまちまちである．我々の実験装置は他光源からの影響や自光源の他への影響を除くため，アルミホイルや黒紙で内張りされた発泡ポリスチレンフォームで囲い，光遮蔽をしている．（ 3.6　参照）

機能	Ｓ－ＶＨＳＣビデオカメラ GR-LT7 （ビクター）	８ミリビデオカメラ HANDAYCAM(Hi-8)TR90 （ソニー）
スタンバイＳＷ	５分継続で電源自動オフ。	
フォーカス	自動／手動	自動／手動
最大撮影時間	３０分（３倍モード可）	１２０分
シャツタ速度	1/60*-1/100-1/250-1/500--1/1000-1/4000- 秒	1/60*-1/100-1/250-1/1000--1/2000-1/4000-1/10000- 秒
マクロ撮影	1.5cm以上	1cm以上
設定表示時間	日　時　分	時　分　秒
備考	電源オン時に必ずフルオートにセットされる。その後、手動に切り換える必要がある。	オートロック機構がある。事前の手動セットが可能。
その他 倍率 テープ幅 カセットサイズ 水平解像度	 6倍 1/2インチ（12.7 mm） 92 * 59 * 23 (mm) 400本以上	 10倍 8 mm 95 * 62.5 * 15 (mm) 400本以上

（＊通常）

表 3.2.1　ＶＨＳビデオカメラと８ミリビデオカメラの主な仕様

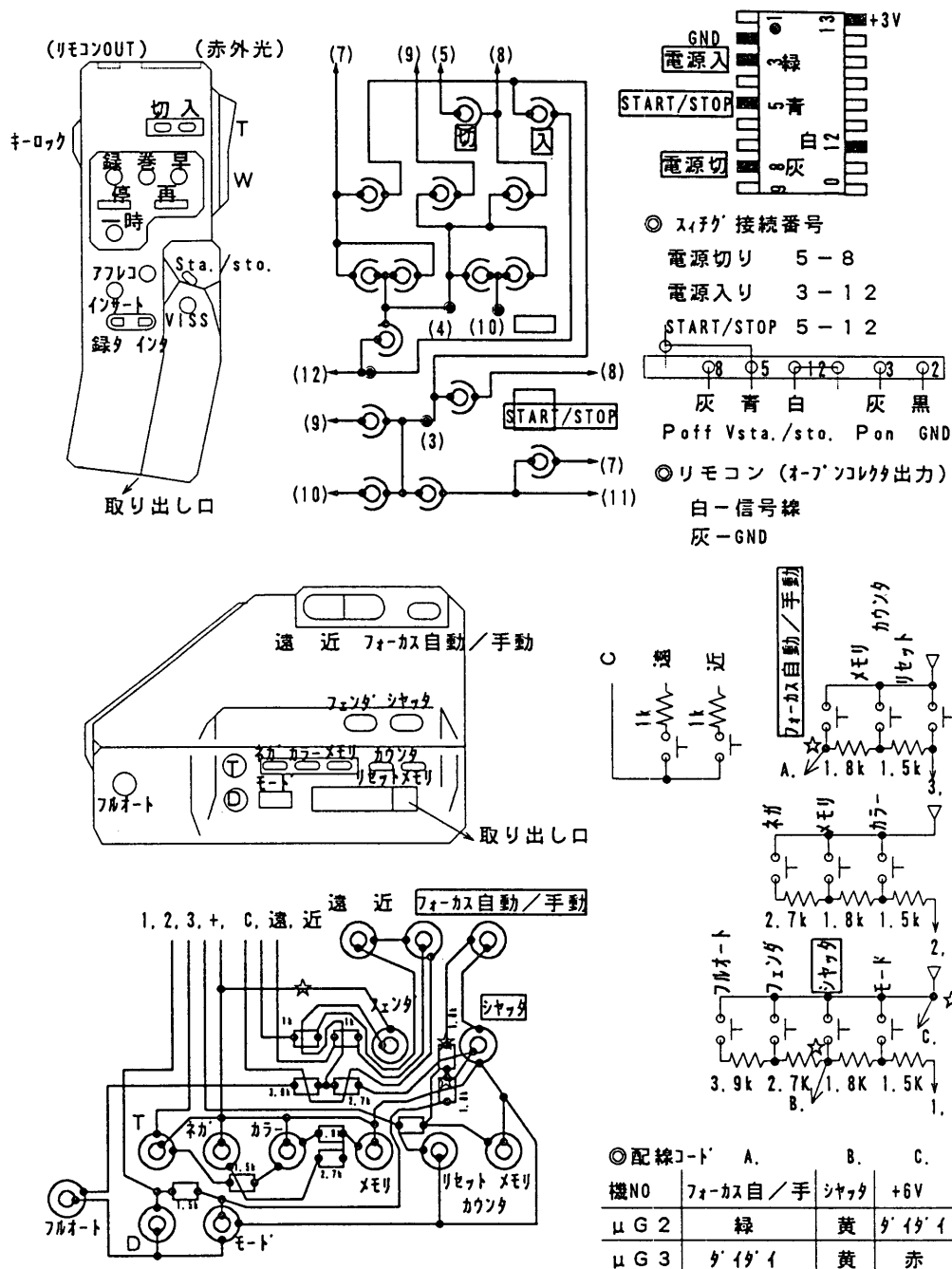



図 3.2.1 VHSビデオカメラとリモコン（RM－V50）のスイッチ配線図

ビデオ撮影には照明用の光源を必要とする．「ショウジョバエ」を用いた落下実験ではビデオ撮影時のシャツタ速度を１／４０００秒に設定する必要がある．この高速シャツタに伴う光量不足を補うため，照明は高輝度のハロゲンランプ（自動車用白色フオグランプ，１２Ｖ－５５Ｗ）を２灯使用した．ハロゲンランプは空気槽の前面のＶＨＳビデオカメラ上方に設置した．他の実験では１２Ｖバッテリ駆動用蛍光灯（４Ｗ）を２組使用した．蛍光灯は水槽または空気槽の上部と下部に設置した．

光源は実験の内容に応じてプログラムされた制御装置で点灯・消灯を行う．

3.4 実験装置搭載電源

実験装置はＪＡＭＩＣ供給電源を使用することが出来る．（表 2.2.1A, 2B 参照） しかし，これらの電源は落下２４分前からの使用や瞬停などの使用制限がある．また，共同利用において，共同実験者がどのような電源使用を行うか落下実験前日の打ち合わせまではっきりしないケースが多い．これらのことから，ＪＡＭＩＣ供給電源はＡＣ１００Ｖ用電源および落下当日の緊急用としての利用を考え，実験装置の直流電源は自前とした．

ＶＨＳビデオカメラ用電源は２回の落下実験共に，付属ＡＣパワーアダプタ（AA-V3，ＡＣ１００ＶはＪＡＭＩＣより供給）を用いた．８ミリビデオカメラ用電源は初め付属ＡＣパワーアダプタ（AC-S10）を用い，実験用ラックに新たに搭載した支援用電源（DC-AC）でＡＣ１００Ｖを供給した．次回の８ミリビデオカメラ用電源は使用時間２時間１０分用（NP-77H）の専用バッテリパックを用いた．

自前直流電源としては容易に入手できる自動車用バッテリ（１２Ｖ用）で，無重力下での液漏れを防ぐため密封型を使用する．

「ショウジョウバエ」落下実験では光源のハロゲンランプと保温用ヒーター（温度制御器付き）に大きい電力を必要とする．ハロゲンランプの使用時間を２分程度とすると，２灯で約０．３Ａｈの電力消費となる．保温用ヒーター（１２Ｖ－６Ｗ）はＪＡＭＩＣ引き渡しから回収までの稼動時間３時間とすると，約１．５Ａｈの電力消費となる．電源を共用するとバッテリには約１．８Ａｈ以上の容量が必要になる．我々は入手が容易だった完全密封型，１２Ｖ・１０Ａｈ（YTX12-BS, 152L*88W*131H mm, 4.2Kg）のバッテリを使用した．このバッテリは以後の落下実験の光源（蛍光灯４Ｗ＊２組または４組）用電源などとして使用した．また，落下実験は急きょケーブル通信によるデジタルコマンド使用になったため，３分間タイマーを使用した．タイマー電源はＪＡＭＩＣ供給ＡＣ１００Ｖを用いた．

「アメリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」落下実験に用いる水槽には無重力下でまるまって大きな気泡になるを防ぐため，空気遮断用の網を用意し，落下直前にソレノイド（DC-SOLENOID SHINDENGEN SIZE 75S PUSE 30.9Ω）で，水面に接触させる．ソレノイドの動作電圧は１２～２４Ｖ仕様．動作を確実なものとするため，ソレノイド用の電源はバイク用１２Ｖバッテリ（GT4B-5・2Ah、85.5L*38W*113H mm、1.05Kg）２個直列接続した，２４Ｖを使用した．

「クロコオロギ」落下実験ではコオロギの筋電図（ＥＭＧ）測定用回路と筋電図記録目的のデータレコーダを備える．ＥＭＧ回路，データレコーダ（録音再生器）の動作電源電圧は±１２Ｖと１２Ｖ．電源はバイク用バッテリ２個でプラス電圧を共用した．

１回目の「アメリカザリガニ」の落下実験ではＪＡＭＩＣ用意のＣＣＤカメラとＶＨＳビデオカメラの２台，使用した．ＣＣＤカメラ電源はＪＡＭＩＣ供給ＡＣ１００Ｖを使用した．

3.5 空気槽・水槽

実験動物を収容する容器は動物の種類や実験条件によって，サイズや材質が異なる．ビデオ撮影を行うものは，内部が見える透明アクリル製とした．

「ショウジョウバエ」は市販透明アクリル箱

（外形 66W*42H*24D,1t mm）３個を用い，１個と２個の２組として，２台のビデオカメラで撮影した．図 3.5.1 に「ショウジョウバエ」用小型空気槽の外形を示す．

「オタマジャクシ」，「アメリカザリガニ」，「クロコオロギ」用は空気・水両用として，手製の透明アクリル箱（外形 240W*210H*80D,10t mm）２個（ラックＡ，ラックＢ）用意し，使用ラック数に応じて使い分けた．Ａタイプは上蓋の固定をボルト（最大２７本）で行う（他講座より入手）．Ｂタイプは上蓋の固定をバックル（４個）で行う（自作）．図 3.5.2 に空気・水兼用槽の外形を示す．

「クロコオロギ」の筋電図測定用収容容器はビデオカメラの台数やラツクのスペース制限によって撮影できないことから，電磁シールドを兼ねてアルミ製の箱（140W*60H*95D,1t mm：ＥＭＧ用プリアンプ部を含む）を用いた．図 3.5.3 に「クロコオロギ」の筋電図測定用収容容器の外形を示す．

3.6 実験装置の外形

実験装置の大きさは標準実験装置エンベロープ（横置１／４ラック）内で構成する．実験装置搭載用棚板は木製合板（シナランバ，23mm厚）を使用．実験装置は棚板上に鉄アングルで骨組みを作り，その回りを光遮蔽や保温目的でアルミホイルや黒紙で内張りされた発泡ポリスチレンフォーム（スタイロフォーム）で囲う．空気槽または水槽，ビデオカメラ，光源，バッテリ電源，制御装置等が内部に配置する．

１／４ラックを２台同時使用の場合，制御装置，バッテリ電源は一方側のラック（Ａ）だけに置かれ，他方（Ｂ）と共用する．

図 3.6.1 に「ショウジョウバエ」の実験装置の見取り図を示す．実験装置の総重量は２４Ｋｇ．

図 3.6.2 に「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」ラックＡ・「アメリカザリガニ」ラックＢ実験装置の見取り図を示す．ラックＡ，Ｂの実験装置の総重量は２９．５Ｋｇと２０．５Ｋｇ．

図 3.6.3 に「クロコオロギ」の実験装置の見取り図を示す．実験装置の総重量は２９．６Ｋｇ．

図 3.6.4 に「クロコオロギ」ラックＡ・「アメリカザリガニ」ラックＢの実験装置の見取り図を示す．ラックＡ，Ｂの実験装置の総重量は２９．６Ｋｇと２０．５Ｋｇ．

3.7 記録・その他

「ショウジョウバエ」の実験装置には保温用ヒータ（１２Ｖ－６Ｗ），液晶時計を備える．保温用ヒータは温度センサと共に後部パネル（銅板とアルミ板の張り合わせ）の後ろに固定．図 3.7.1 に温度制御回路を示す．液晶時計は１個用小型空気槽の左・下部に位置する後部パネルに穴をあけ固定．落下実験当日，落下カプセルの光通信不良のため通信ケーブルを用いて落下前コマンドを得た．このため，現場で作成した３分間タイマーを実験ラックと実験装置のインタフェース間に設置した．図 3.7.2 に３分間タイマーの回路配線図を示す．

「アメリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」水槽には落下開始と同時に水の表面張力による水の動き（水面が丸まる）を抑えるための，網（プラスチック防虫網， 2mmﾒｯｼｭ）とそれを水面に降ろし空気を遮断するソレノイドを備える．プラスチック枠に固定された網は一方を水面に接するような位置で蝶番を用いて，うわ蓋に固定．他方はバネで水面の上に押し上げた状態にして，ソレノイドの動作で水面に接触させる．図 3.7.3 に空気遮断装置の構造を示す．

「クロコオロギ」の落下実験ではクロコオロギの足からの筋電図を採取し，データレコーダに記録する．図 3.7.4 に自作筋電図用プリアンプ回路図を示す．データレコーダは市販の録音再生ボード（SST-8100A，ユニテク電子株式会社製）[7] を用いた．記録はREC-START端子をハイレベル（ＴＴＬ）にすることによって行う．記録時間は

図 3.5.1 「ショウジョウバエ」用小型空気槽

図 3.5.2 空気・水兼用アクリル槽

図 3.5.3 「クロコオロギ」筋電図測定用収容容器

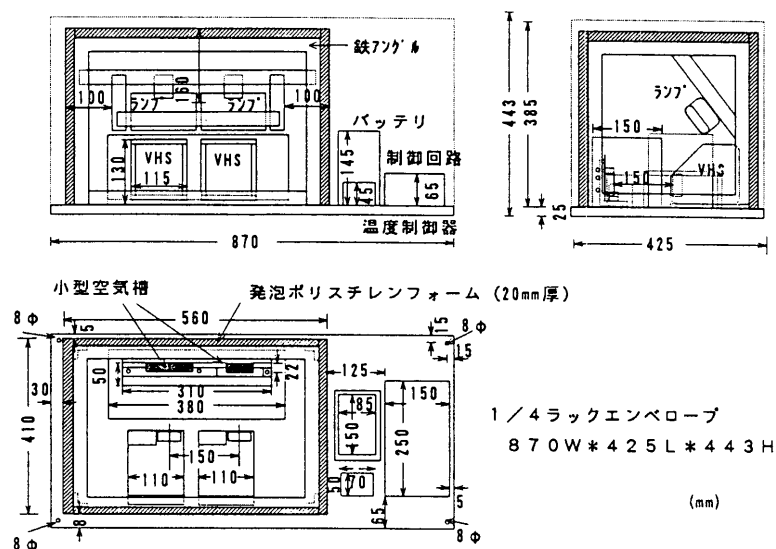



図 3.6.1 「ショウジョウバエ」実験装置見取り図

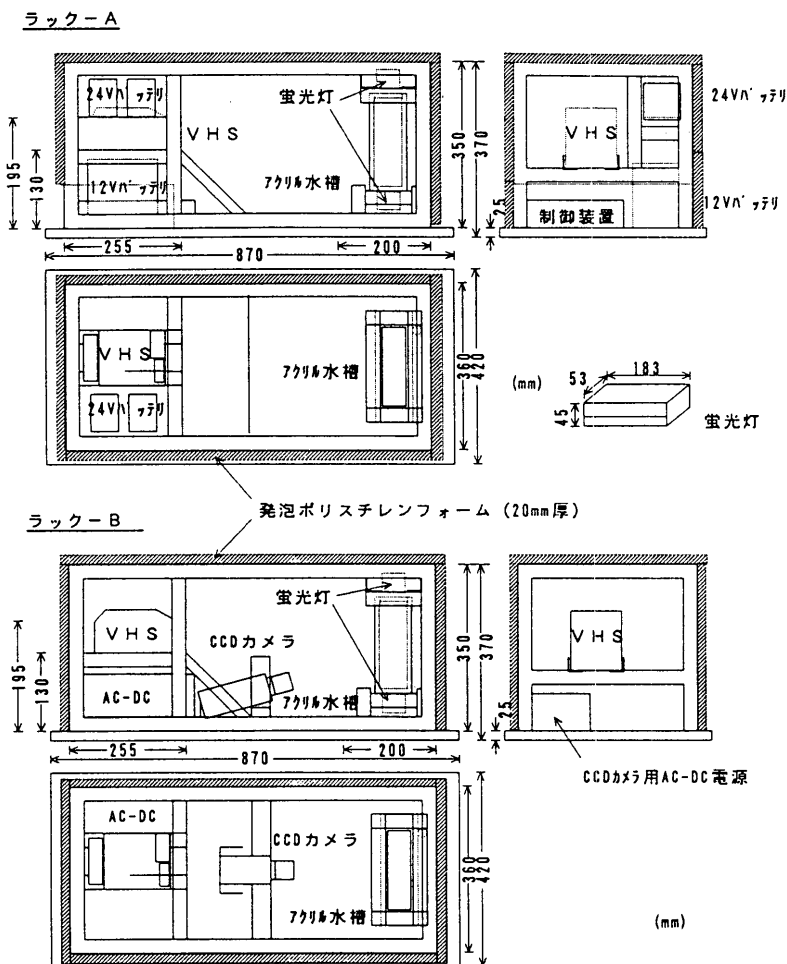



図 3.6.2 「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」ラックA
と「アメリカザリガニ」ラックBの実験装置見取り図

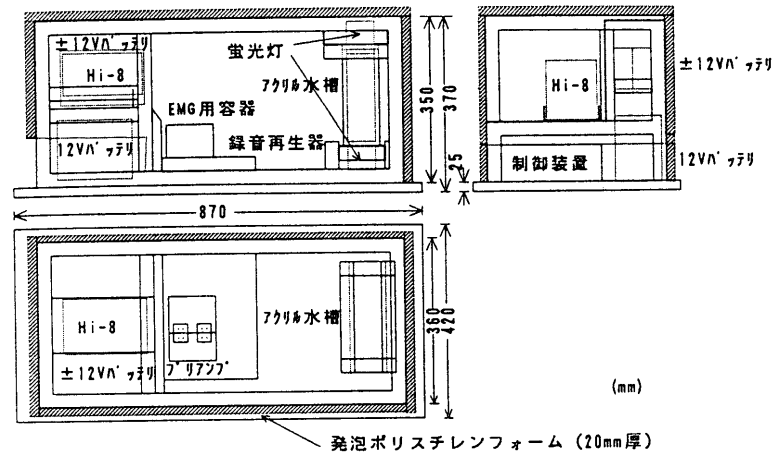



図 3.6.3 「クロコオロギ」実験装置見取り図

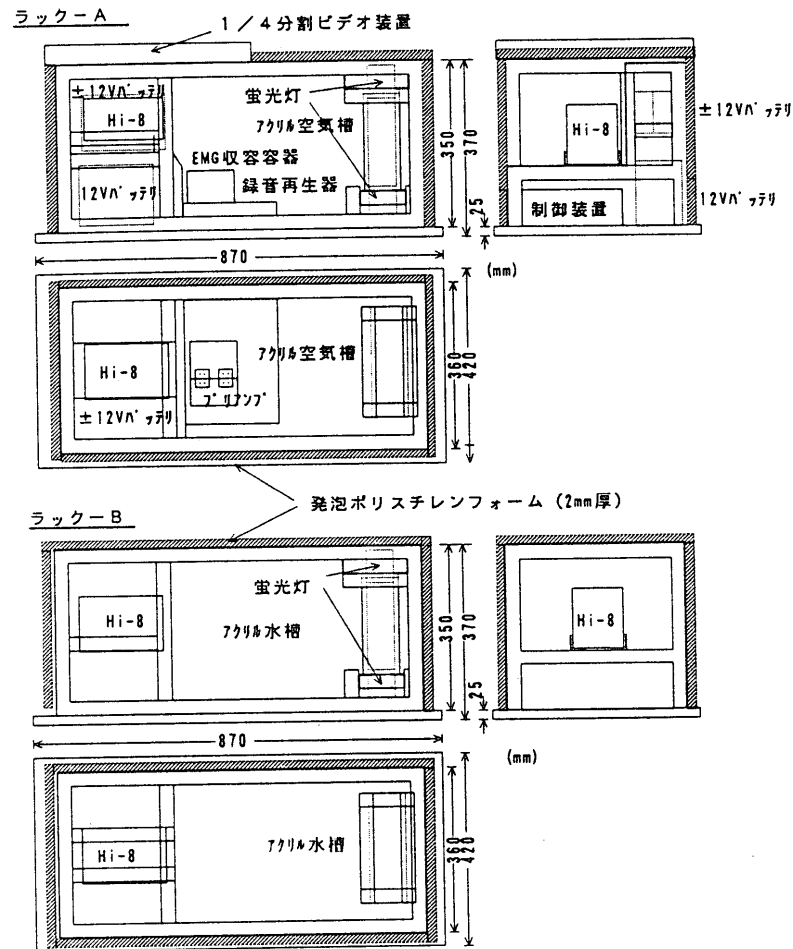



図 3.6.4 「クロコオロギ」ラックと「アメリカザリガニ」Bラックの見取り図

１６秒間（A/D12bit、16KHzサンプル）．図 3.7.5 に録音再生ボード起動回路および外形を示す．
表 3.7.1 に録音再生ボードの使用条件を示す．

合成方式	ＡＤＰＣＭ方式
チャネル数	１チャネル
サンプル周波数	１６ｋＨｚ
録音再生時間	１６秒
ライン入力・出力	６００Ω
スピーカー出力	圧電スピーカ
制御方法	ＴＴＬレベル
電源電圧	１２（２０８ｍＡ）～１５Ｖ
基板寸法	２３０Ｗ＊１４０Ｄ＊３０Ｈ（ｍｍ）

表 3.7.1　録音再生ボードの主な特性

４．制御装置

4.1　落下型無重力発生装置（ＪＡＭＩＣ）とのインタフェース

ユーザが利用できる信号には実験データとコマンドがある．（表 2.2.2A, 2B 参照）　我々の落下実験では制御装置からのシーケンス制御によって機器を操作することを基本としている．したがって，外部からの信号は制御装置への動作開始コマンドを必要とする．直接，制御モニター室から落下内カプセルへの伝送はデジタル信号（リレーのオン：０．３秒幅パルス）１チャネルを用いた．他に，ＪＡＭＩＣ側から提供される落下開始デジタル信号（リレーのオン：１秒幅パルス）を使用する．

ＪＡＭＩＣとのインタフェース用コネクタはＤサブ２５ピン・オスを使用した．

4.2　制御回路

制御回路は半導体メモリに書き込まれた規則に従って，制御対象物をシーケンス（逐次）制御する．回路は入力インタフェース，制御回路（クロック，メモリ，デコーダ），出力インタフェース等で構成する．

図 4.2.1 に制御回路のブロックダイヤグラムを示す．落下前コマンド信号ラインではクロック回路を動作（クロック発振器と周波数カウンタのリセット解除）し，ＲＯＭにプログラムされた内容でシーケンス制御を始める．落下開始コマンド信号ラインでは落下期間中の表示ランプ点灯やストップウォッチを動作する．各ＲＳ－ＦＦはプログラム中にセットされているリセット信号でリセット状態へ反転し，各制御を終了する．

図 4.2.2 にインタフェース，制御回路の回路図を示す．制御装置への入力信号は落下前コマンド信号，落下開始コマンド信号とリセット信号（制御回路を初期化－半自動）である．回路の入力インタエース部にはＲＳフリップ・フロップ回路（TC4011 Quad 2-Input NAND または SN74279 Quad RS FF で構成）２組で構成する．２つのコマンド信号はそれぞれのセット信号となる．リセットは電源投入後，１回は回路的に発生するリセット信号で行われる．以後のリセットは手動（リセットスイッチ）で行う．

落下前コマンド信号ラインではＲＳフリップ・フロップがセット状態になるとクロック回路を動作（クロック発振器と周波数カウンタのリセット解除）する．クロックの発生はプログラマブル水晶発振器（8640AN、1MHz）を使用した．クロック周波数は２Ｈｚ（０．５秒周期）にセットした．クロック信号は周波数カウンタ（TC4520 Dual Binary Up Counter）でカウントする．カウント数は8ビットのバイナリ（２進数）信号として出力され，メモリのアドレス信号になる．メモリはＵＶ－ＥＰＲＯＭ（HN27C256AG-12 32,768-word X 8-bit , UV Ereaseable & Programable Read Only Memory）を使用した．ＵＶ－ＥＰＲＯＭは紫外線の照射により書き込み内容の消去ができ，ＲＯＭライタによって電気的にプログラムができる読みだし専用メモリであることから，実験項目に応じたプログ

図 3.7.1 温度制御回路

図 3.7.2 3分タイマー配線図とタイムチャート

図 3.7.3 「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」用空気遮断装置

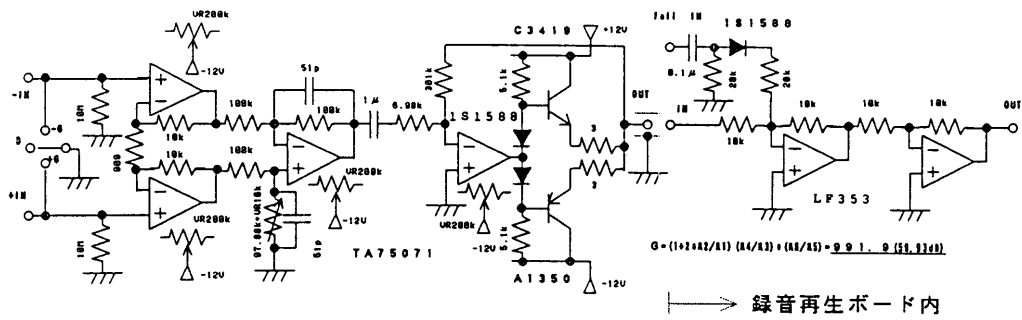



図 3.7.4　「クロコオロギ」筋電図用前置増幅器回路図

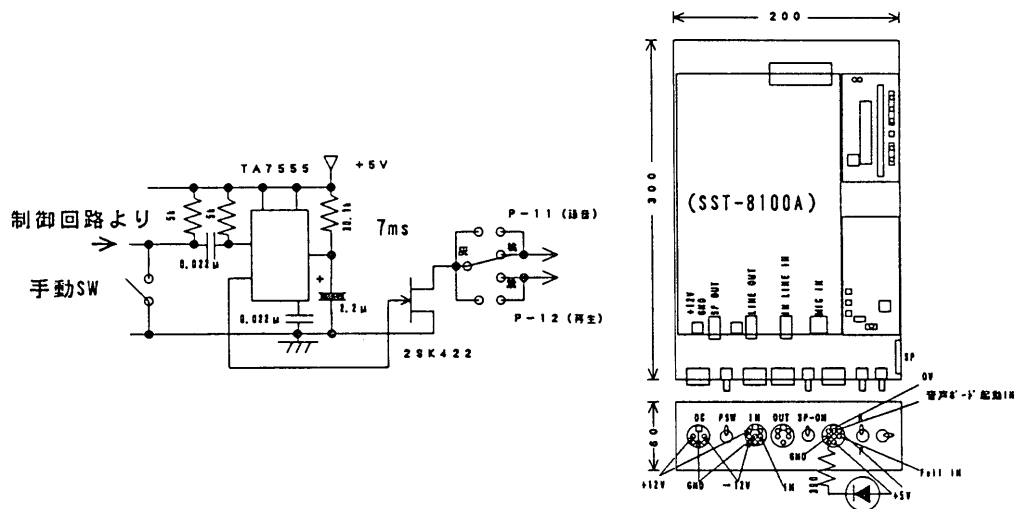



図 3.7.5　録音再生ボード起動回路と録音再生器の外形

SN74279	:	Quad RS FF
8640AN	:	Programmable Crystal Oscillator
TC4520	:	Dual Binary Up Counter
NH27C256AG-12	:	UV-Ereaseaable & Programable Read Only Memory
74HC540	:	Inverting Octale 3 State Buffer
TC4028	:	BCD to Decimal Decorder

図 4.2.1 制御回路のブロックダイヤグラム

図 4.2.2 インタフェース，制御回路の回路図

ラムをその都度書換えて使用する．メモリへの書き込みはアドレスに対応したメモリ上の場所に1（ハイレベル）または0（ローレベル）を記憶させることによって実現する．メモリの読みだしはアドレスの設定（A0－A14）によって行われ，先の周波数カウンタの出力信号８ビットを下位（A0－A7）アドレスに用い，８ビットのプログラム内容を出力する．したがって，シーケンス制御可能時間はクロック周波数２Ｈｚで最大１２８秒となる（１５ビットアドレスでは最大１６，３８４秒）．ＵＶ－ＲＯＭの紫外線消去によって，メモリ出力はＦＦ（８ビットを１６進数表示）にセットされる．このことから，ＲＯＭライタでのプログラム書き込みはインバータ（０を１，１を０に反転）信号をシーケンス制御時間に対応するアドレスだけ設定する．メモリ出力８ビットはインバータ・バッファ（74HC540 Inverting Octal 3 state Buffer）で反転し，デコーダで各チャネルに分配し，出力インタフェース（アナログスイッチ）を動作する．素子数は実用制御項目数を考慮し，デコーダに１０チャネル用（ TC4028 BCD to Decimal Decorder）１個，出力インタフェースのアナログスイッチに４チャネル用（ TC4066 Quad Bilateral Switch ）２個を使用する．

図 4.2.3 に各落下実験で使用した出力インタフェース回路を示す．出力インタフェースは制御項目に応じて，アナログスイッチの後にホトカップラやパワーＭＯＳＦＥＴ等を備える．ホトカップラは大電力制御（例えば，ヒータ，照明用ライト，ソレノイド），パワーＭＯＳＦＥＴは中電力制御に用いる．

制御回路，電源（６．０Ｖ，アルカリ電池 単２x４本），ＶＨＳビデオ用リモコン，出力インタフェース素子はアルミシャーシ（ 70H*230W*14D mm ）内にしっかりと固定する．

図 4.2.4 に制御装置の外形を示す．アルミシャーシには入力用コネクタ，出力用コネクタ，動作チエック用スイッチ，電源スイッチを備える．入力コネクタにはＤサブ２５Ｐピン・コネクタ（ＪＡＭＩＣ指定 ： 14-15 落下開始コマンド，

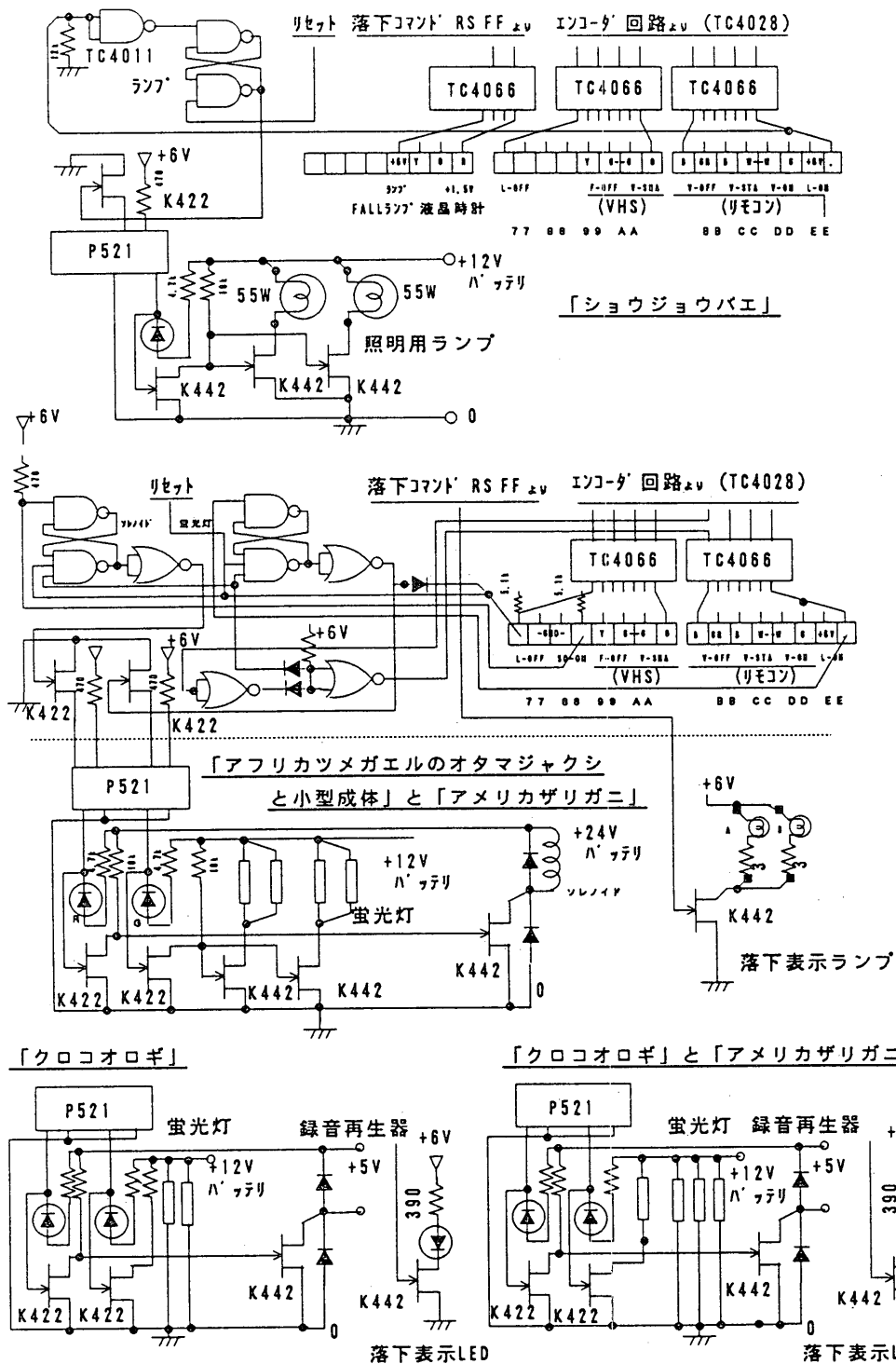



図 4.2.3 各実験装置の出力部インタフェース

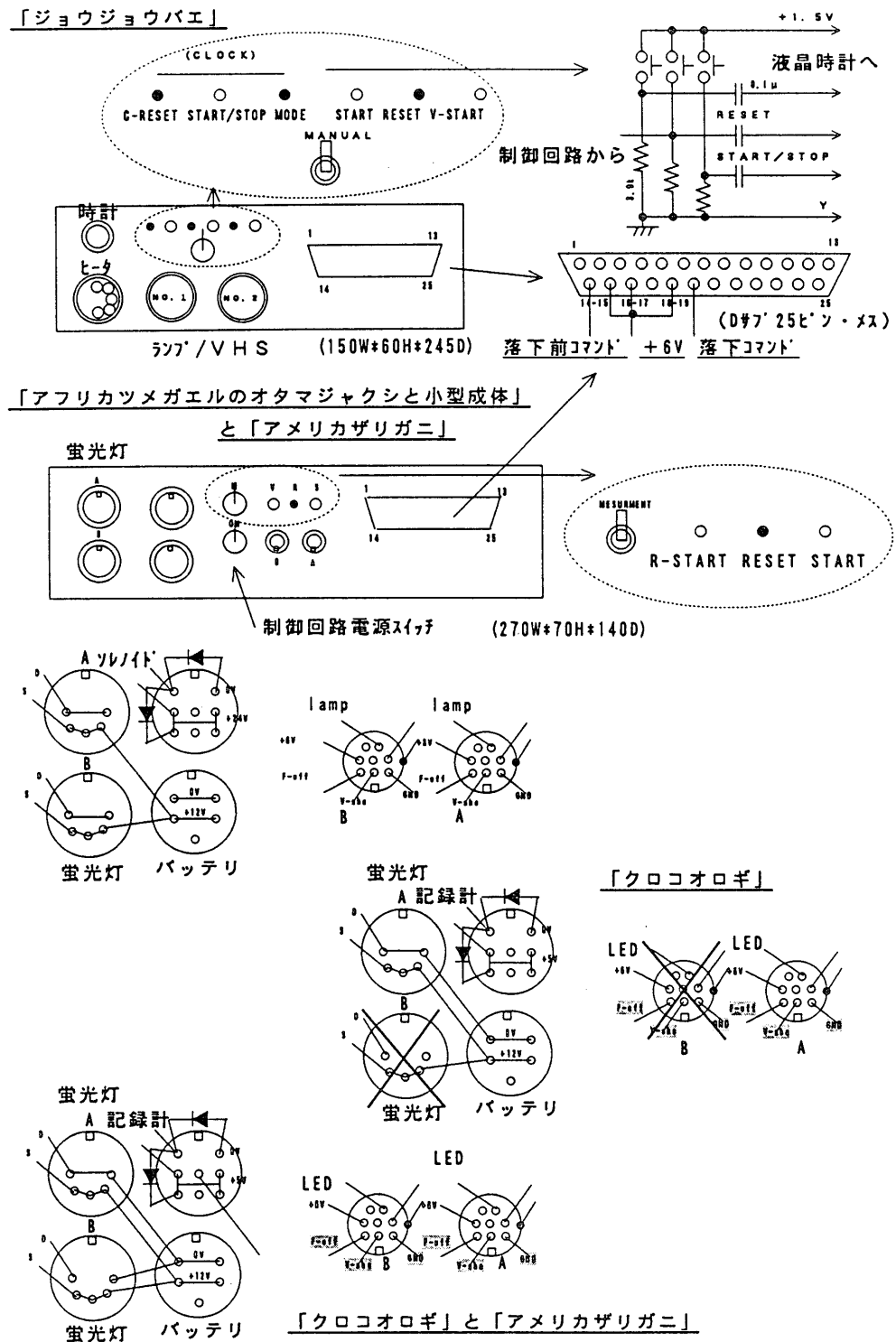



図 4.2.4 各実験装置の制御装置パネル

18-19 落下前コマンド），ＤＩＮ５Ｐ（ランプ用電源入力）を備える．出力コネクタにはＤＩＮ５Ｐ（ランプ接続用）２組，ＤＩＮ８Ｐ（ソレノイド用），ＤＩＮ５Ｐ（ランプ用電源入力），ミニＤＩＮ８Ｐ（ストップウォッチ等）２組を備える．動作チェツク用スイッチはＪＡＭＩＣ側のコマンドに対応した押しボタンスイッチ（２個）とリセット押しボタンスイッチを備える．電源スイッチは制御回路電源オンと，ランプ・ソレノイド用電源を出力インタフェース素子に接続する．

4.3 制御プログラム

制御プログラムは実験内容に直接関わる重要な部分である．図 4.3.1 に各実験動物の落下実験の制御プログラムのタイムチャートを示す．図中の時間表示は落下時間を０秒，落下前を－（マイナス），落下後を無符号（プラス）で示した．

「ショウジョウバエ」実験装置の制御プログラムは落下－３０秒で制御モニター室で手動で（自動可）デジタルコマンドをオンする．以下，制御内容を示す．照明用ランプオン：－２９秒，ＶＨＳビデオカメラ電源オン：－２７秒，シャッタ速度スイッチオン：－２５秒（1/60），－２４秒（1/100），－２３秒（1/250），－２２秒（1/500），－２１秒（1/1000），－２０秒（1/4000），オートフォカース切り：－１８秒，ＶＨＳビデオカメラ撮影開始：－１６秒，ＶＨＳビデオカメラ撮影停止：１８秒，ＶＨＳビデオカメラ電源オフ：４１秒，照明用ランプオフ：４３秒．

「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」と「アメリカザリガニ」実験装置の制御プログラムは落下－３０秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする．以下，制御内容を示す．照明用ランプオン：－２９秒，ＶＨＳビデオカメラ電源オン：－２６．５秒，オートフォカース切り：－２４．５秒，ＶＨＳビデオカメラ撮影開始：－２０．５秒，ＶＨＳビデオカメラ撮影停止：９９秒，ＶＨＳビデオカメラ電源オフ：１０２秒，照明用ランプオフ：１０４秒．

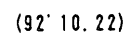
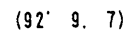
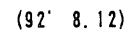
「クロコオロギ」実験装置の制御プログラムは落下－5秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする．照明用ランプオンと８ミリビデオカメラ電源オン・撮影開始はＪＡＭＩＣ引き渡し時に操作する．以下，制御内容を示す．データレコーダオン：－４．５秒．

「クロコオロギ」と「アメリカザリガニ」実験装置の制御プログラムは落下－5秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする．照明用ランプオンと８ミリビデオカメラ電源オン・撮影開始はＪＡＭＩＣ引き渡し時に操作する．以下，制御内容を示す．データレコーダオン：－４．５秒，「アメリカザリガニ」の上部照明オフ：５秒，「アメリカザリガニ」の上部照明オン：１５秒．

5．実験結果

「シヨウジョウバエ」落下実験はショウジョバエの飛行状態（特に羽の動きに注目），を２台のＶＨＳビデオカメラで撮影した．照明，２台のビデオカメラ制御は順調に作動し，良好な映像が得られた．温度制御はＪＡＭＩＣ引き渡し時から作動していたがビデオ映像から温度計は２８℃を示しており，目標値（２８～３０℃）に達していた．落下表示ランプと液晶時計は誤動作をした．内カプセル内の周辺電磁ノイズの影響か？（制御装置の入力インタフェース回路にＣＭＯＳを用いた．）微小重力レベル，制動重力レベルは０．０００４４ｇと７．５ｇ（最大値）であった．

「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」と「アメリカザリガニ」落下実験はラックＡ（前者）に制御回路を搭載し，ラックＡ，ラックＢ２台を同時に制御した．前日（92'8.11）の同じ落下実験ではフォーカスがずれたままフォーカスロックし，ビデオ撮影に失敗した．今回（8.12）の落下実験ではビデオカメラ制御は順調作動し，良好な映像が得られた．ラックＡの空気遮断装置は正常に動作し，水の動きによる気泡の発生は見られなかった．ラックＢではＪＡＭＩＣから借用したＣＣＤカメラでの撮影も良好に行われ，カプセル搭載ＶＴＲ，制御モニター室ＶＴＲに録画さ

図 4.3.1 各落下実験の制御プログラムのタイムチャート

れた．微小重力レベル，制動重力レベルは０．０００４ｇと７．９ｇ（最大値）であった．

「クロコオロギ」落下実験は映像撮影に８ミリビデオカメラを用いた．８ミリカメラは手動ピント調整が可能で，撮影時間が２時間あるので，ＪＡＭＩＣ引き渡し時から蛍光灯，８ミリビデオカメラを撮影状態とした．制御は音声再生器を起動は制御回路で落下４．５秒前動作した．ビデオ撮影の他に「クロコオロギ」の足に筋電図電極を挿入し落下前後16秒間発生した筋電図を音声再生器に記録した．良好な筋電図波形が得られた．筋電図電極の測定部位を 図 5.1 に示す．測定した筋電図波形を 図 5.2 に示す．微小重力レベル，制動重力レベルは０．０００６６ｇと８．９ｇ（最大値）であった．

落下実験（「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」＆「ザリガニ」92'8.12）でのＪＡＭＩＣ環境支援データ（内カプセル）の例を以下に示す．落下開始時刻は１２時３１分５３秒．

図 5.3A は落下前から落下終了後までの内カプセル内の騒音を騒音計でモニターした結果を示した．（時間範囲３５秒，相対騒音量）落下開始と同時に共同実験者のウズラの羽ばたき音が記録されている．羽ばたき音はビデオカメラのマイクによって，映像と共に録音されている．

図 5.3B は落下中（１０秒）の微小重力（Ｚ軸方向）をμ－ｇセンサでモニタした結果を示した．落下中の微小重力は落下約０．５秒後から終了まで０．０００４ｇ以内を示している．

図 5.3C は落下直前から落下終了後の制動重力を制動重力センサでモニタした結果を示す．（時間範囲１５秒）制動ブレーキが段階的にかけられている．最大制動重力は７．９４ｇ．

「クロコオロギ」と「アメリカザリガニ」落下実験で映像撮影は前回と同様に８ミリビデオカメラをラックＡ，ラックＢに２台使用した．良好な映像が得られた．また，「クロコオロギ」も映像の他筋電図の記録を行った．「アメリカザリガニ」は落下開始５秒から上部照明を１０秒間消灯する．制御は筋電図記録開始信号と照明の消灯・消灯・点灯動作の３項目で，良好な筋電図波形が記録され，ビデオ映像から照明の動作も確認された．２台の８ミリビデオカメラのモニタ映像信号は 1/4 分割ビデオ装置を介してカプセル搭載ＶＴＲと制御モニタ室ＶＴＲに良好に録画された．微小重力レベル，制動重力レベルは０．０００４ｇと８．５ｇ（最大値）であった．

無重力での実験動物の行動変化[8]を以下に示す．「ショウジョウバエ」は無重力状態では羽ばたきをしない．「アフリカツメガエルのオタマジャクシ」は頭から腹部方向へ回りこんで円を描いて泳ぐ．変態完了後の小型成体は体をねじりながら水中を上昇した．「アメリカザリガニ」は２回の実験で特記すべきことがない（高畑）．「クロコオロギ」は２回とも空中に浮き上がり，特に羽ばたきはない．筋電図は無重力と同時に発生した．

図 ５．４ に落下実験の要約を示した．

６．おわりに

本実験は電子科学研究所電子情報処理部門神経情報研究分野（下澤楯夫教授）の教職員・大学院学生全員が関わった．高畑雅一助教授（現・理学部教授）は実験責任者として常に落下実験にたずさわり，「アメリカザリガニ」による実験を提案された．馬場欣哉助手はスタッフとして落下実験にたずさわり，「ショウジョウバエ・アフリカツメガエルのオタマジャクと小型成体」，「クロコウロギ」と同筋電図測定を提案され，実験動物の実験条件などのソフト面を担当された．大学院学生諸君（丹羽三佳子，清水　利伸，岡田　康夫，中村　秀樹，中村　信通，増田　宏，熊谷　恒子，菊川　峰志）は実験スタッフとして常に数人が交代で落下実験に参加し，実験動物の実験条件決定などのソフト，ハード面に参加した．下澤楯夫は研究実施責任者として落下実験の総指揮を執った．土田義和は落下実験に初めから参加し，直接ハード面を担当したことから，今回の技術部技術発表となつた．

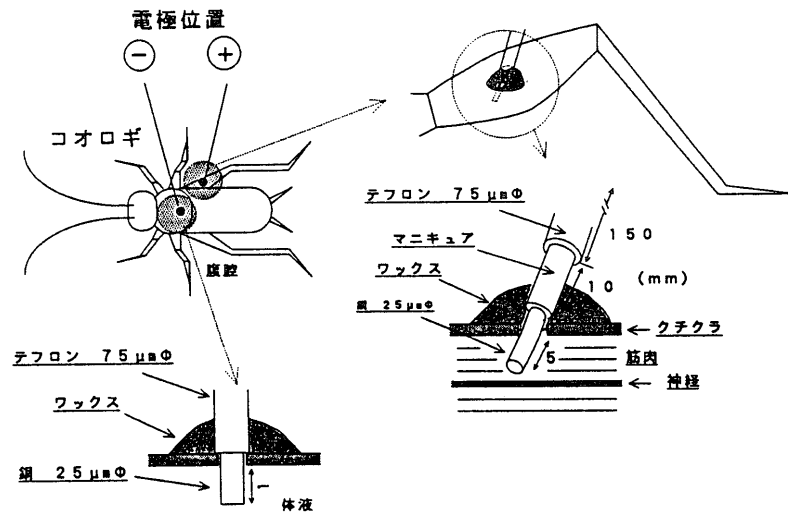



図 5.1　「クロコオロギ」の筋電図（EMG）測定電極部位

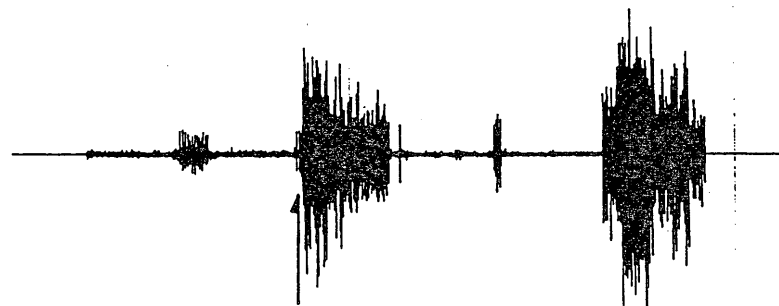
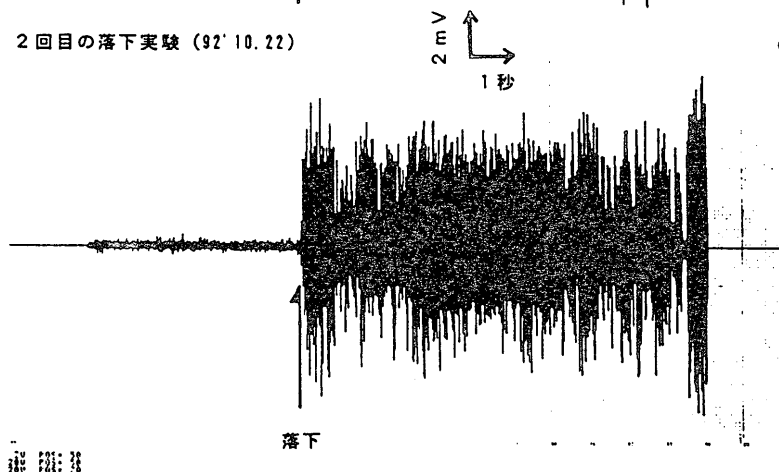



図 5.2　「クロコオロギ」の筋電図波形

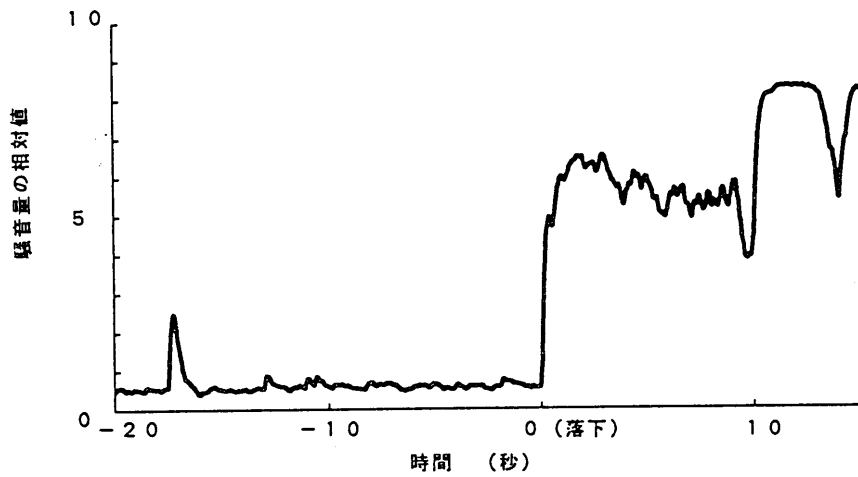



図 5.3A　落下中の内カプセル内の騒音モニタ結果

図 5.3B　落下中のμ－gセンサ（微小重力）のモニタ結果

図 5.3C　制動重力センサのモニタ結果

主催　団体名	ＪＳＵＰ　((財)宇宙環境利用推進センター) (JAPAN SPACE UTILIZATION PROMOTION CENTER)		平成４年度 先端技術研究施設 啓蒙イベント事業落下実験　　上砂川町	
実験年月日	91'10.31	92'8.12	92'9.7	92'10.22
実験対象動物	ｼｮｳｼﾞｮｳﾊﾞｴ	ｵﾀﾏｼﾞｬｸｼ　ｱﾒﾘｶｻﾞﾘｶﾞﾆ	ｸﾛｺｵﾛｷﾞ	ｸﾛｺｵﾛｷﾞ　ｱﾒﾘｶｻﾞﾘｶﾞﾆ
全体寸法 (使用ｴﾝﾍﾞﾛｰﾌﾟ)	A 1/4ﾗｯｸ	A　B 1/4ﾗｯｸ　1/4ﾗｯｸ	A 1/4ﾗｯｸ	A　B 1/4ﾗｯｸ　1/4ﾗｯｸ
	425Lx870Wx433H (mm) [1/4ﾗｯｸ]			
槽種	空気槽 (1,2ｹ用) 24Lx66Wx42H,1t(mm)	水槽-A　水槽-B	空気槽-B	空気槽-A　水槽-B
		240Lx210Wx80D, 10t (mm) 透明アクリル製		
総重量	24Kg	29.3Kg　20.5Kg	29.6Kg	29.6Kg　20.5Kg
微小重力ﾚﾍﾞﾙ	0.00044 G	0.0004 G	0.00066 G	0.0004 G
制動重力ﾚﾍﾞﾙ MAX	7.5275 G	7.9425 G	8.9325 G	8.5425 G
制御対象 1・ﾋﾞﾃﾞｵｶﾒﾗ	S-VHSC (GR-LT7) *2	S-VHSC　S-VHSC (GR-LT7)　(GR-LT7) CCD(JAMIC借用)	HANDAYCAM(Hi-8) (TR900)	HANDAYCAM　HANDAYCAM Hi-8(TR900)　Hi-8(TR900) #3　#2
電源	ﾋﾞﾃﾞｵ専用ﾊﾞｯﾃﾘ	ﾋﾞﾃﾞｵ専用ﾊﾞｯﾃﾘ CCD-JAMIC搭載 AC100V電源	JAMIC側搭載 AC100V電源	共にﾋﾞﾃﾞｵ専用(2h)ﾊﾞｯﾃﾘ 1/4分割ﾋﾞﾃﾞｵ装置 (JAMIC搭載AC100V電源) 1　2
2.光源(ﾗｲﾄ)	ﾊﾛｹﾞﾝ球 55W*2	蛍光灯　蛍光灯 4W*2　4W*2	蛍光灯 4W*2	蛍光灯　蛍光灯 4W*2　4W*2
電源	12Vﾊﾞｯﾃﾘ (YTX12-BS;10Ah、152Lx88Wx131H mm)			
3.記録 その他	保温用ﾋｰﾀｰ ｻｰﾓｽﾀｯﾄ付き (6W)	空気遮断用ｿﾚﾉｲﾄﾞ (DC-SOLENOID SHINDENGEN SIZE 75S PUSE 30.9Ω)	アルミ製コウロギ収容箱 (EMG用ﾌﾟﾘｱﾝﾌﾟを含む。) &　(140Lx95Wx60H, 1t mm) ﾃﾞｰﾀﾚｺｰﾀﾞSST-8100A (300Lx200Wx60H,1t mm)	
電源	光源用ﾊﾞｯﾃﾘと兼用 (12Vﾊﾞｯﾃﾘ)	24Vﾊﾞｯﾃﾘ	±12Vﾊﾞｯﾃﾘ	
		(12Vx2 GT4B-5;2Ah, 85.5Lx38Wx113H mm)		
利用ｺﾏﾝﾄﾞ (ﾃﾞｼﾞﾀﾙ)	落下前　30 sec　(光15-16)　PL-0.3 sec		落下前　5 sec　(光15-16)　PL-0.3 sec	
	落下ｺﾏﾝﾄﾞ (JAMIC側起動) (光18-19)　PL-1sec			
ｺﾝﾄﾛｰﾗ ｲﾝﾀﾌｪｰｽIC 主な使用IC	CMOS CMOS, UVROM	TTL CMOS, UVROM	TTL(LS) CMOS, UVROM	TTL(LS) CMOS, UVROM
電源	6.0V (単二x4)			
備考	*JAMIC側光伝送不良の為 JAMIC側が準備した 3minnﾀｲﾏｰを用いて ｹｰﾌﾞﾙ通信でﾃﾞｼﾞﾀﾙｺﾏﾝﾄﾞを起動。	*ﾗｯｸAのｺﾝﾄﾛｰﾗで２台を制御。 *8/11 S-VHSCｶﾒﾗ ２台ともﾌｫｰｶｽがズレの状態へ動き、そのまま ﾌｫｰｶｽﾛｯｸした為，ﾋﾞﾃﾞｵ撮影に失敗した。(8/12と同実験)	*ｺｵﾛｷﾞのEMGは落下5秒前のﾃﾞｼﾞﾀﾙｺﾏﾝﾄﾞから16秒間記録。 (録音再生ﾎﾞｰﾄﾞ SST-8100A)	*ｺｵﾛｷﾞのEMGは 前回と同じ。 *ｻﾞﾘｶﾞﾆ水槽の上部照明を落下開始 5秒後から消灯。 (10秒間) @落下5分前にLEDが点灯。 (ﾒﾀﾞｶ用ﾗｲﾄ起動時のﾉｲｽﾞ) @ﾗｲﾄ電源はAC100Vよりｽｲｯﾁﾝｸﾞﾚｷﾞｭﾚｰﾀを使用。
共同実験者 A: B: C: D:	ｻｸﾗﾏｽ　:飯塚　農 ﾗｯﾄ　:小島　環 ｼｮｳｼﾞｮｳﾊﾞｴ　* 金魚　:佐原　農	ｻﾞﾘｶﾞﾆ　* ｳｽﾞﾗ　:富田　名大　農 ｳｽﾞﾗ　:富田　名大　農 ｵﾀﾏｼﾞｬｸｼ　*	ｶｴﾙ　:荒磯　電 ﾁｮｳ　:飯塚　農 ﾁｮｳ　:佐原　農 ｺｳﾛｷﾞ　*	ｺｳﾛｷﾞ　* ｻﾞﾘｶﾞﾆ　* 気泡(ｶｴﾙ)　:八田　工 ﾒﾀﾞｶ　:最上　お茶大

図 5.4　落下実験の要約

参 考 文 献

１）伊藤献一；地下無重力落下実験－実験施設・実験概要紹介－ＩＮ　ＳＰＡＣＥ　’９２－宇宙環境利用交際　シンポジュウムー　前刷集.

２）「地下無重力実験センター　ユーザガイド」初版　平成３年３月，改訂１版　平成４年３月（株）地下無重力実験センター発行.

３）「ＶＨＳビデオムービー　ＧＲ－ＬＴ７　取扱説明書」　日本ビクター株式会社.

４）「ビデオカメラレコーダＨｉ８　ＣＣＤ－ＴＲ９００　取扱説明書」　ソニー株式会社.

５）「ＡＶ用語集」　ビデオSALON 11月号付録（１９９３）玄光社.

６）「最新ＡＶ入門－高画質ビデオから衛星放送まで－」　林正儀著　啓学出版.

７）「ＳＳＴ－８１００Ａ取扱い説明書」　ユニテク電子株式会社.

８）「平成３年度無重力落下実験施設利用デモンストレーション実験成果報告書」財団法人　宇宙環境利用推進センター.